

*Marian Mokwa*

## **PRZEPLAWKI DLA RYB NA STOPNIACH REGULACYJNYCH POTOKÓW GÓRSKICH**

### ***FISHWAYS ON THE REGULATED WEIRS OF MOUNTAIN STREAMS***

#### **Streszczenie**

Stopnie regulacyjne są to wysokie progi budowane poprzecznie do osi koryta, których korona przelewu położona jest w granicach 0,5 do 2,0 m nad poziomem stanowiska dolnego. Stopnie wodne budowane na rzekach i potokach górskich charakteryzują się zazwyczaj stosunkowo głębokim wcięciem koryta, co uniemożliwia stosowanie przepławek w formie kanałów obejściowych dla ryb. Pozostaje więc przejście dla ryb usytuowane w świetle stopnia. Przepławka może zajmować całe światło stopnia i wówczas stanowi pochylnię kamienną zmieniającą funkcję stopnia na bystrotok. Chcąc zachować dotychczasowy charakter stopnia, przejście dla ryb budujemy w formie koryta łączącego górne i dolne stanowisko uzyskując tzw. przepławkę ryglową.

W artykule zaprezentowano własną konstrukcję przepławki ryglowej (kombinację bystrotoku i przepławki komorowej). Zaproponowany typ przepławki poddano badaniom laboratoryjnym na modelu w skali 1:10. Na podstawie wyników badań modelowych zaprojektowano i wykonano dwie tego typu przepławki na potokach Pogórza Sudeckiego.

**Słowa kluczowe:** potoki górskie, przepławki, badania modelowe

#### ***Summary***

*The regulated weirs are the high river bars constructed across to channel axis, which overfall crest is situated within the range from 0,5 m to 2,0 m, at level of down stage. These weirs are constructed in rivers and mountain streams, and characterized usually of relatively deep channel intersection, which make impossible application of the by-pass channels for fish. The only solution is then fishway located at the weir width. Fish passed can be occupy the all weir width and then it creates the stone ramp, changing the function of the weir rapid. So as, to keep the*

*previous function of weir, the fish passage is constructed as riverbed connecting the upper and the lower station, as a half-timbered fish passed.*

*In the paper has been presented the own design of the half-timbered fish passed (combination of the rapid and chamber fish passed). The proposed type of the fish passed has been exposed to the laboratory studies on model in the scale of 1:10. Basing oneself on the results of model studies, two half-timbered fish passed have been designed and realized in streams of the Sudety plateau.*

**Key words:** mountain streams, fishways, laboratory studies

## WSTĘP

W 1996 roku ukazało się Rozporządzenie Rady Ministrów OŚZNiL w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle gospodarki wodnej i ich usytuowanie (Dz.U. Nr.21, poz. 111), w którym w rozdz. 3.21 zapisano: „Budowle hydrotechniczne przegradzające rzekę powinny być wyposażone w urządzenia zapewniające swobodne przemieszczanie się ryb przez przeszkodę, a zbiorniki wodne powinny być tak ukształtowane, aby były pozostawione ostoje i tarliska dla ryb”. Powyższa ustawa zobowiązuje do budowy przejść dla ryb w miejscach, gdzie rzeka przegradzona jest budowlą piętrzącą wodę.

Budowle wodne, takie jak zapory, jazy, stopnie, progi i bystrotoki przegradzające rzekę powodują rozerwanie ciągłości rzeki (*river continuum*), co utrudnia lub wręcz uniemożliwia rydom i innym organizmom swobodną migrację wzdłuż jej koryta. W konsekwencji prowadzi to do ograniczenia liczebności ryb, zaś w skrajnych przypadkach nawet do wyginięcia całych populacji, gdy odcięty zostaje dostęp do tarlisk [Żbikowski, Żelazo 1993].

Ograniczająco na możliwości migracyjne ryb oddziałują nie tylko duże piętrzenia. Dla większości gatunków ryb rzecznych przeszkodą nie do pokonania staje się piętrzenie o wysokości kilkudziesięciu centymetrów, a dla małych ryb progi o wysokości 20 do 30 cm.

Szkody powodowane przez rozerwanie ciągłości rzeki ocenia się tak wysoko, jak zniszczenie różnorodności koryta i warunków przepływu, oznacza to, że utrata ciągłości jest jedną z dwóch największych klęsk, jakie zdarzyć się mogą rzece. Od dłuższego już czasu trwa pogląd, że niedopuszczalna jest budowa obiektów powodujących rozerwanie ciągłości bez urządzeń umożliwiających przechodzenie organizmów przez lub obok tych przeszkód.

Urządzenia umożliwiające pokonywanie przez faunę wodną piętrzenia tzw. przepławki (przejścia, drogi dla ryb, ang. *Fishways*, *Fish passed*, niem. *Fischweg*) mają za zadanie redukcję prędkości przepływu wody do wartości odpowiadających możliwościom pokonywania siły prądu zarówno przez zasiedlającą rzekę ryby, jak również organizmy bezkręgowce. Do niedawna najczęściej stosowanym typem były przepławki komorowe. Przepławkę stanowiło

koryto z wbudowanymi poprzecznymi przegradami, w których umieszczone były otwory. Obserwowane często ich wadliwe i nieskuteczne działanie inspirowało poszukiwanie innych rozwiązań. Jednym z nich są tzw. przepławki szczelinowe, które stanowią modyfikację tradycyjnej przepławki komorowej. Rozwiązanie to według dotychczasowych obserwacji charakteryzuje się lepszą skutecznością działania niż tradycyjne przepławki komorowe [Mokwa, Boczarowski 1999].

Uwarunkowania biologiczne i środowiskowe, które określają rydom trasy wędrówek oraz możliwości pokonywania znajdujących się na ich drodze przeszkód, stanowią podstawę konstrukcyjnych założeń budowanych współcześnie tzw. przepławek ekologicznych. Generalną zasadą ich konstruowania jest [Kruiger i in. 1993]:

- umożliwienie swobodnej migracji fauny rzecznej,
- komponowanie się z naturalnym otoczeniem,
- umożliwienie właściwego funkcjonowania budowli piętrzącej.

Ogólne zasady projektowania przepławek przedstawiają się następująco:

– prędkości wzdłuż przepławek powinny być zróżnicowane, jak w rzece naturalnej. Największa prędkość w przepławce nie powinna przekraczać największej prędkości w rzece oraz  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w górach i  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  na nizinach,

– maksymalne różnice wysokości położenia zwierciadła wody w komorach nie powinny przekraczać: w górach 25 cm, w dolinach 10–20 cm. Przelewy pomiędzy komorami powinny działać jako nie zatopione,

– pochylnie kamienne (bystrotoki) wbudowane w jaz powinny mieć nachylenie dna mniejsze od 1:10, szerokość większą od 0,8 m. Warunki hydrauliczne powinny zapewnić przepływ mniejszy od  $0,5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , prędkość mniejszą od  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i napełnienie minimalne 0,5 m (min. 0,35 m).

## PRZEJŚCIA DLA RYB NA STOPNIACH REGULACYJNYCH

Stopnie regulacyjne – zgodnie z definicją [Mokwa 2003a] – są to budowle poprzeczne w korycie rzeki, których spad wynosi od 0,5 do 2,0 m. Tak więc, stopnie w całym zakresie spadów powinny być wyposażone w przepławki, jeżeli tego wymagają warunki danego cieku.

Współczesne tendencje w budowie przejść dla ryb opierają się na zasadzie tworzenia w nich warunków, w których ryba napotyka w wędrówce ku górze warunki zbliżone do tych, które znajdowała w naturalnej rzece.

Do przepławek tego typu należą:

– kanały obiegowe: koryta ukształtowane na podobieństwo naturalnych cieków z zabudowanymi licznymi progami lub ostrogami kamiennymi. Rozwiązania tego typu są szczególnie korzystne gdy trzeba dobudować przepławkę do istniejącego już stopnia. Wymagane jest jednak odpowiednie ukształtowanie przyległego terenu, umożliwiające budowę obejścia,

– łańcuch akwenów (oczek) połączonych krótkimi przelewami. Przykładem takiego rozwiązania może być przepławka kałużowa. Układ basenów (oczek) może być zróżnicowany, zależny od ukształtowania terenu;

– pochylnie: wbudowane w światło stopnia w osi przelewu lub przy ścianie bocznej. Rozwiązanie takie jest szczególnie korzystne przy spadkach małych spotykanych na stopniach, ze względu na stosunkowo niskie koszty budowy. Na przykład przy spadzie 1 m długość pochylni zawiera się w przedziale 10 do 20 m. Pochylnie są to pewnego rodzaju bystrotoki składające się z koryta, na którego dnie utworzona jest sztucznie szorstkość z kamieni łamanych lub otczaków. W 1995 roku opracowana została metoda projektowania takich przepławek przez Electric Power Research Center, Chubu Electric Power CO., Inc. w Nogoyi [International Symposium ... 1995]. Metoda ta pozwala na wyznaczenie napełnienia koryta i wielkości przepływu w zależności od przyjętych wymiarów koryta i kamieni. Odmianą tego typu przepławki jest przepławka zwana w Polsce ryglową. W korycie układane są na przemian duże i małe kamienie, stwarzające opór dla przepływu wody.

#### **WYBÓR I UZASADNIENIE PRZYJĘTEJ KONCEPCJI PRZEPLAWKI DLA RYB NA STOPNIU REGULACYJNYM Z WYDŁUŻONYM PRZELEWEM**

Z przeprowadzonej analizy przejść dla ryb wynika, że na stopniach regulacyjnych możliwe są dwa podstawowe rozwiązania przepławek:

- przepławki obejściowe, omijające stopień,
- przepławki będące integralną częścią stopnia.

W zasadzie, tam gdzie jest możliwe zastosowanie przepławki obejściowej w rozwiązaniach naturalnych lub bliskich naturze i gdzie jest uzasadnione ekonomicznie, takie rozwiązania są zalecane. Jednak przy projektowaniu stopni regulacyjnych, szczególnie na rzekach i potokach Pogórza Sudeckiego, gdzie koryta są mocno wcięte w teren, a brzegi zazwyczaj wysokie i strome, najczęstszym rozwiązaniem pozostaje przepławka związana ze stopniem. Na Pogórzu Sudeckim stopniami, które najlepiej sprawdziły się w okresie trzydziestoletniej eksploatacji są stopnie z wydłużonym przelewem, tzw. stopnie typu Pietraszki [Mokwa 2004].

Koncepcja budowy stopni z wydłużonym przelewem polega między innymi na tym, że zwiększona została szerokość niecki od strony korpusu stopnia w stosunku do długości korony przelewu po to, aby strugi wody przy podwyższonych stanach były kierowane do niecki wypadowej pod odpowiednimi kierunkami. Taka konstrukcja niecki wyklucza budowę przepławki przy ścianach bocznych (przyczółkach). Pozostaje więc wkomponowanie przepławki w oś niecki. Rozwiązaniem racjonalnym w takim przypadku jest pochylnia w formie bystrotoku [Mokwa 2004].

Zatem zagadnieniem wymagającym rozwiązania pozostaje ustalenie kształtów i wymiarów pochylni oraz warunków hydraulicznych odpowiadających wymogom stawianym przejściom dla ryb. Zadanie to rozwiązano na drodze badań modelowych.

### METODYKA BADAWCZA I ZAKRES BADAŃ

Model doświadczalny stopnia wodnego został zaprojektowany i wybudowany w Laboratorium Wodnym Instytutu Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Wymodelowano odcinek rzeki o długości 130 m w naturze, z czego 70 m stanowi odcinek górny cieku, a 36 m odcinek dolny. Stopień wraz z poszerzeniami stanowiska górnego i dolnego zajmuje 24 m.

Wielkość obiektu oraz warunki laboratoryjne umożliwiły realizację modelu w skali 1:10. Model wykonano ze spadkiem podłużnym wynoszącym 0,001.

Z uwagi na przeważający wpływ sił ciężkości w procesie badawczym do przeliczeń odpowiednich wartości z modelu na naturę i odwrotnie, zastosowano prawo podobieństwa Froude'a. Wpływ innych czynników jest minimalny i można je pominąć. Podczas pomiarów układu zwierciadła wody w korycie panował ruch spokojny w całym zakresie przepływu  $F_r = v^2 \cdot gh^{-1} > 1$ . Przyjmując skalę wymiarów liniowych  $\lambda = 10$ , otrzymuje się dla innych występujących wielkości następujące skale:

- czas i prędkość  $1:\lambda^{1/2} = 1:3.16$
- objętość i siły  $1:\lambda^3 = 1:1000$
- natężenia przepływu  $1:\lambda^{5/2} = 1:316$

Zaproponowano trzy zasadnicze warianty rozwiązań konstrukcyjnych przeplawek:

– wariant I a, b – pochylnia o głębokości 0,5 m z przegrodami poprzecznymi (przeplawka komorowa):

- a. pełne przegrody,
- b. przegrody z otworami 0,2 x 0,3 m,

– wariant II:

- a. pochylnia skrócona o głębokości sięgającej do dna niecki
- b. pochylnia skrócona z przewężeniem na wlocie,

– wariant III: pochylnia w formie bystrotoku o głębokości 0,7 m:

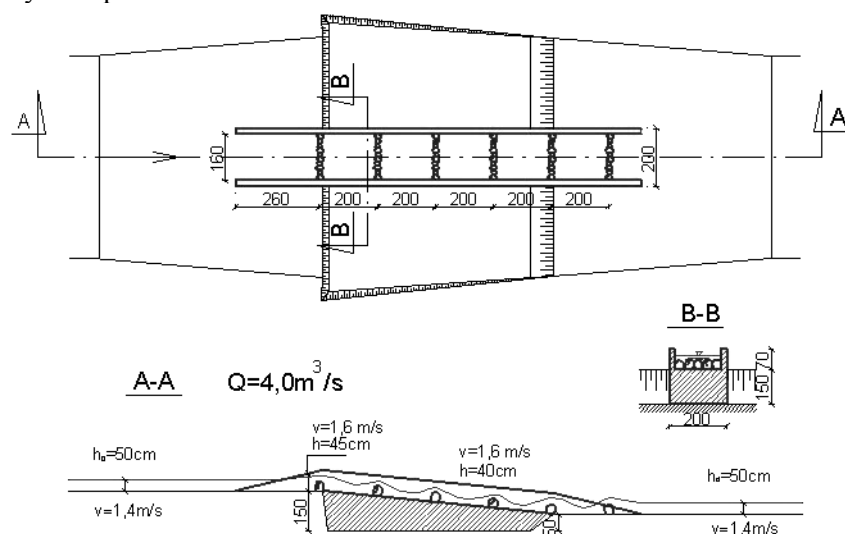
- a. bystrotok z dnem gładkim,
- b. bystrotok z przegrodami kamiennymi,
- c. bystrotok z kamieniami rozmieszczonymi nieregularnie.

Badania wariantowych rozwiązań przeplawek przeprowadzono w zakresie trzech charakterystycznych przepływów i odpowiadających im napełnieniom wyznaczonym we wcześniejszych pomiarach [Mokwa 2003b]:

$$\begin{array}{ll} Q_{N1} = 2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} & h_{g1} = 0,3 \text{ m} \\ Q_{N2} = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} & h_{g2} = 0,4 \text{ m} \\ Q_{N3} = 16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} & h_{g2} = 1,0 \text{ m} \end{array}$$

Pomiary obejmowały:

- ustalenie głębokości napełnienia przepławki (układu zwierciadła wody w przepławce),
- ustalenia prędkości średnich w przepławce oraz na stanowisku górnym i dolnym stopnia.



**Rysunek 1.** Model przepławki. Wariant III b

**Figure 1.** Fishway model. Variant III b

## WYNIKI BADAŃ

**Wariant I.** W osi podłużnej stopnia regulacyjnego zaprojektowano pochylnie o długości 15,0 m, szerokości 1,2 m i głębokości 0,5 m. Pochylnia pokonuje spad 1,5 m z nachyleniem ok. 1:10. Wykonany wstępny pomiar układu zwierciadła wody w przepławce przy przepływie  $Q_N = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  wykazał, że minimalna głębokość wody występująca w połowie długości pochylni wyniosła 0,2 m, a prędkość przekroczyła  $v_{\max} = 3,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . W celu zmniejszenia prędkości i zwiększenia napełnienia wprowadzono cztery przegrody poprzeczne z jednostronnym obniżeniem. Przegrody zredukowały prędkość maksymalną do  $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (przy przepływie  $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). W poszczególnych komorach wytworzyły się odskoki hydrauliczne powodujące silne zaburzenia przepływu stanowiące przeszkodę dla wędrówki ryb.

Próba skierowania części przepływu przez otwory w przegrodzie o wymiarach 0,3 x 0,3 nie poprawiła układu zwierciadła wody na przepławce. Uznano więc, że pochylnie należy przeprojektować.

**Wariant II.** Zmiana pochylni polegała na jej skróceniu od wody górnej do krawędzi przelewu oraz pogłębieniu przepławki do dna niecki. Powstały w ten sposób cztery komory o zróżnicowanych głębokościach od 1,5 m przy progu do 0,5 m na końcu niecki.

Układ zwierciadła wody, jaki się utworzył przy przepływie  $Q_N = 3,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  wykazuje nieco mniejsze zaburzenia wody niż w przypadku płytkiej pochylni, jednak prędkości znacznie przekraczają dopuszczalne dla przepławek. Podjęta próba redukcji prędkości poprzez zmniejszenie wlotu na przepławkę z szerokości 1,6 m do 1,2 m nie przyniosła zadowalających rezultatów.

**Wariant III.** Powyższe wyniki prób wykazały, że należy zmienić koncepcję z przegród tworzących komory na rozwiązanie bystrotkowe. Zachowując tą samą szerokość przepławki, połączono próg przelewu z progiem niecki wypadowej płaszczyzną, która stanowi dno przepławki. Nad dnem nadbudowano ściany boczne o wysokości 0,7 m na długości 15,0 m.

Badania wstępne dotyczyły ustalenia warunków przepływu bez zabudowy dna bystrotoku (wariant IIIa). Maksymalna prędkość w bystrotoku dochodziła do  $4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , a minimalne napełnienie sięgało 0,2 m. Takie warunki hydrauliczne są przeszkodą nie do pokonania przez ryby.

W celu poprawienia warunków hydraulicznych przepływu wprowadzono sześć rzędów rygli poprzecznych w postaci kamieni o zróżnicowanej wysokości. Uzyskano w ten sposób redukcję prędkości przepływu do  $1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  oraz napełnienie minimalne 0,3 do 0,4 m. (wariant IIIb).

W dalszej kolejności (wariant IIIc – fot. 1), dno bystrotoku zabudowano kamieniami o zróżnicowanej wysokości rozmieszczonych nierównomiernie. Uzyskano korzystne warunki przepływu. W zależności od wielkości i rozmieszczenia kamieni, przy przepływie charakterystycznym  $Q_N = 4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , prędkości wahały się w tym przypadku od 1,1 do  $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , a napełnienie w przedziale 0,35 do 0,45 m.

## WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań modelowych różnych rozwiązań konstrukcyjnych przepławek na stopniach regulacyjnych z wydłużonym przelewem ustalono, że najlepszym rozwiązaniem jest bystrotok usytuowany w osi podłużnej stopnia. Nachylenie dna bystrotoku nie powinno być większe od 1:10, natomiast szorstkość (w postaci rygli lub nierównomiernie rozmieszczonych kamieni) należy ustalić na drodze badań modelowych lub w wyniku obliczeń metodami zalecanymi w literaturze [Lubieniecki 2003].

Na podstawie uzyskanych wyników z badań modelowych zaprojektowano i zrealizowano przepławkę na stopniu regulacyjnym na Czarnym Potoku [Niesobski 2006] (fot. 2).



**Fotografia 1.** Model przepławki – wariant III c (przepływ  $Q_N = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )  
**Photography 1.** Model of the fish passed – variant III c (flow discharge  $Q_N = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )



**Fotografia 2.** Przepławka ryglowa, widok od wody dolnej, Czarny Potok (autor Niesobski)  
**Photography 2.** The half-timbered fish passed, view from downstream water stage, stream Czarny Potok (author Niesobski)



**BIBLIOGRAFIA**

- International Symposium on Fishways` 95 in Gifu. Japan. 1995.
- Kruger F., Labatzki P., Steidl J. *Naturnahe Gestaltung von Fischufstiegsanlagen. Beispiele in brandenburg*. Wasserwirtschaft Wassertechnik 1. 1993.
- Lubieniecki B. *Przeplawki i drożność rzek*. Wydawnictwo Instytutu Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie, Olsztyn 2003.
- Mokwa M. *Ocena hydrauliczna i techniczna stopni z wydłużonym przelewem eksploatowanych przez RZGW Wrocław – wnioskowanych jako wzór użytkowy*. Hydroprojekt Wrocław. 2003a. Maszynopis.
- Mokwa M. *Badania modelowe stopni regulacyjnych z wydłużonym przelewem wnioskowanych jako wzór użytkowy*. AR Wrocław 2003b. Maszynopis.
- Mokwa M. *Badania modelowe przejść dla ryb na stopniach regulacyjnych z wydłużonym przelewem wnioskowanych jako wzór użytkowy*. Akademia Rolnicza we Wrocławiu. 2004 r. Maszynopis.
- Mokwa M. Boczarski S. *Present tendencies in fishway designing*. Materiały konferencyjne 7<sup>th</sup> Conference „Problems of Hydroengineering”. Dolnośląskie Wydawnictwa Edukacyjne, Wrocław 1999.
- Niesobski P. *Koncepcja budowy przeplawki na rzece Odrze w miejscowości Olawa*. Praca magisterska. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. Wrocław 2006.
- Żbikowski A., Żelazo J. *Ochrona środowiska w budownictwie wodnym*. Materiały Informacyjne. Warszawa 1993.

Dr hab. inż. Marian Mokwa prof. UP  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Środowiska  
51-504 Wrocław  
Pl. Grunwaldzki 24  
tel.: 0 71 320- 55-83  
e-mail: mokwa@ozi.ar.wroc.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marek Madeyski